

---

# Berufsspezifik für Elektroniker

---

Thema: „elektrische Maschinen und Antriebe“Plan:  
2 x 8 x 45 min  
Abschluss: Test(-at) 30 min mit Tabellenbuch

---

## Kontakt

- DI Hartmut Paetzold
- Z I Zimmer 1.48
- mailto: [h.paetzold@hszg.de](mailto:h.paetzold@hszg.de)
- 03583 612 4207
- Skype: hartmut.paetzold

## Gliederung

1. Grundprinzip und Klassifizierung elektromagnetischer Energiewandler
2. Transformatoren
3. Rotierende elektrische Maschinen
  - I. Gleichstrommaschinen
  - II. Wechselstrommaschinen
4. elektrische Antriebe (Bock II Semester 3.2)

## 1. Grundprinzip und Klassifizierung elektromagnetischer Energiewandler

# Einleitung: Wie viele Motoren hat ein PKW?

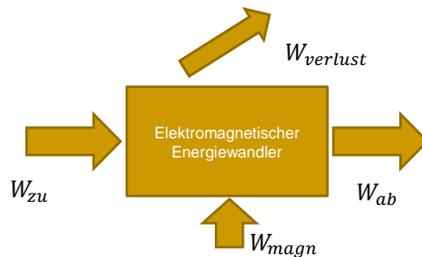
1 Verbrennungskraftmaschine



- 1 Anlasser
- 1 Lichtmaschine
- Klimaanlage bis 14 Stellmotoren
- Bis 12 Motoren je Sitzverstellung/ -Belüftung
- 4 Fensterheber
- 5 Motoren Türschließung
- 1 Lüfter Zentraldisplay
- 2 Schiebedach /Sonnenrollo
- 2 Gurtbringer
- 2 DVD-Laufwerke
- 2 Scheibenwischer
- (1-3) Waschanlage
- 1 Kraftstoffpumpe
- 1 Wasserpumpe
- 4 Aktive Federung
- >1 Lüfter
- 1 Ölpumpe
- ...insgesamt 40 Motoren Mittelklasse, > 100 Oberklasse

# Allgemeine Definition

- ... Ist ein elektromagnetischer Energiewandler



**Wirkungsgrad:**

- Rotierende Maschinen > 80%
- Trafo >90%

$W_{zu}$	$W_{ab}$	
$W_{el}$	$W_{mech}$	Motor
$W_{mech}$	$W_{el}$	Generator
$W_{el}$	$W_{el}$	Umformer (Wandler)

# Einteilung

## Ruhende elektrische Maschinen

### Transformatoren

- Umspanner
- Übertrager



## Bewegte elektrische Maschinen

### linear bewegt

- Linearmotor



### rotierend

- Motor
- Generator (inkl. Tachomaschine)
- Rotierender Umformer



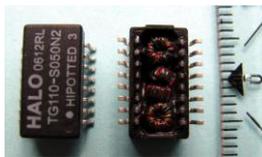
# Besondere Eigenschaften (rotierender) elektrischer Maschinen

- Breites Leistungsspektrum (mW ...MW)
- Breites Drehzahlband, regelbar
- Energie direkt aus speisendem Netz (keine zusätzliche Wandlung wie z.B. Hydraulik oder Pneumatik)
- Keine Verbrennungsrückstände, leiser Lauf
- Motor- und Generatorprinzip gleichzeitig → Rekuperation beim Bremsen

## Eigenschaften II

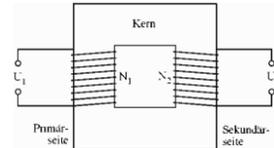
- Magnetfeld benötigt Eisenkreis (magnetischer Leiter) → Masse der Maschine, Luftspalt bei rotierenden Maschinen
- Verluste durch Reibung und Stromwärme
- Stromübertragung auf Rotor induktiv oder Schleifkontakte
- Drehmoment aus Stillstand
- Anlaufstrom Maximalwert (Gefahr Überhitzung)
- Motoren bis 200 kW sind in Anbaumaßen durch DIN genormt (Niederspannungs-Normmotoren)

## 2. Transformatoren

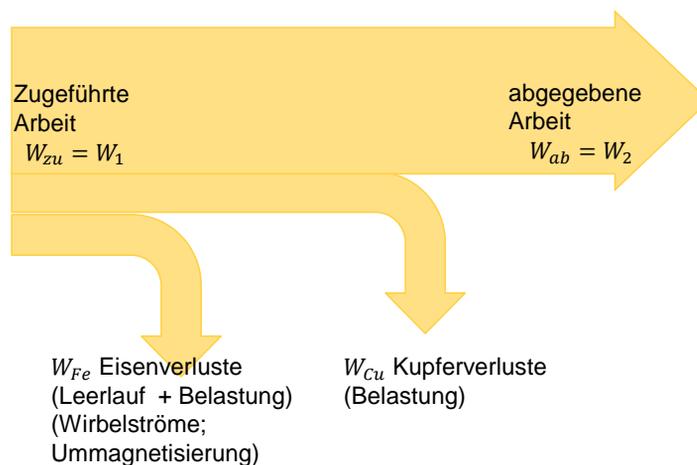


# Allgemeines

- Anpassung von Spannungen, Strömen; z.B. Netztrafo, Umspanner, Schweißtrafo; einphasig oder Drehstrom
- Galvanische Trennung (Wandlung Impedanzen); z.B. Übertrager, Messwandler
- Geblechter Eisenkreis (oder Ferrite) zur Verringerung Wirbelstromverluste
- Nach Energieflussrichtung: Primär- und Sekundärwicklung(en)
- Nach Spannungshöhe Ober- und Unterspannungswicklung
- Es gilt ( bei Annahme  $\eta = 1$ ):  $P_1 = P_2 \rightarrow U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$
- $\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}$
- $\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$
- Konkurrenz durch „elektronische Trafos“



# Energieumwandlung beim Trafo



## Transformatorgleichung

- Kausale Beziehungen:

$$U_1 \rightarrow I_1 \rightarrow \Theta_1 \rightarrow \phi \rightarrow U_2$$

- Induktionsgesetz

$$U_{ind} = N * \frac{\Delta\phi}{\Delta t} \rightarrow$$

- Transformatorgleichung

$$U_{ind} = N * f * \frac{2\pi}{\sqrt{2}} * \hat{\phi} = 4,44 * N * f * \hat{\phi}$$

## Kurzschlussspannung

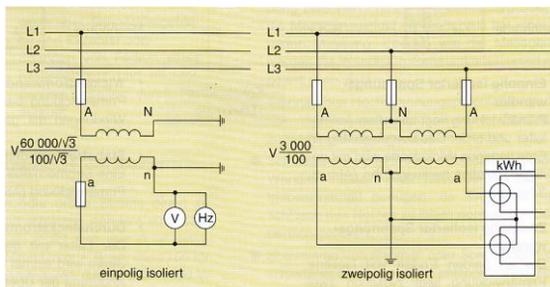
- $u_k = \frac{U_k}{U_n} * 100\%$
- $u_k = \text{relative Kurzschlussspannung}$
- $U_k = \text{Kurzschlussspannung}$
- Fließt bei kurzgeschlossener Sekundärwicklung in der Primärwicklung der Bemessungsstrom, so liegt an der Primärwicklung die Kurzschlussspannung  $U_k$
- $I_k = \frac{I_n}{u_k} * 100\%$
- $I_k$  Dauerkurzschlussstrom

# Messwandler

- In Energietechnik Verbindungsglieder zwischen unter Hochspannung stehenden Anlagenteilen und den Steuer- und Messeinrichtungen
- Sondertransformatoren kleiner Leistung, galvanische Trennung und Schutz der nachgeschalteten Technik bei Netzfehlern
- Ausgangswerte sind standardisierte Größen (z.B. 100 V; 5 A; 1 A)
- Spannungswandler müssen im LEERLAUF arbeiten (hoher Lastwiderstand)
- Stromwandler werden im KURZSCHLUSSGEBIET betrieben (geringer Lastwiderstand, Sekundärseite nicht absichern)

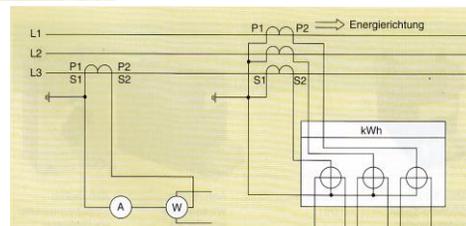


# Schaltungsbeispiele Messwandler



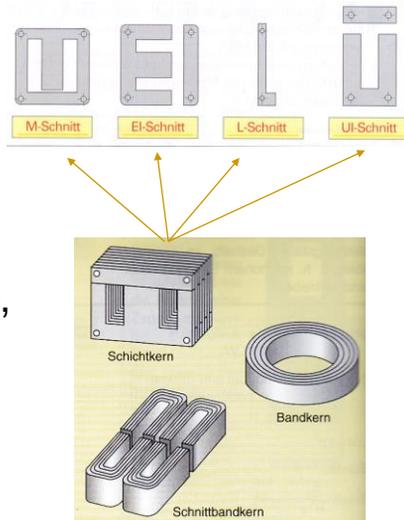
<b>A; B; C; N</b> <b>(U; V; W; X)</b>	Primär- wicklung
<b>a; b; c; n</b> <b>(u; v; w; x)</b>	Sekundär- wicklung

<b>P1; P1</b> <b>(K; L)</b>	Primär- wicklung
<b>S1; S2</b> <b>(k; l)</b>	Sekundär- wicklung



# Kleintransformatoren

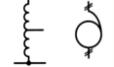
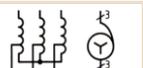
- Bis max. 16 kVA und  $U_1 = 1000\text{ V}$
- Z.B. für Klingelanlagen, Steuertrafos, Spielzeug
- Geblechte Schichtkerne, Bandkerne oder Schnittbandkerne



# Sondertransformatoren 1

Anwendung	Bezeichnung /Bildzeichen	Verwendung	Eigenschaften
<b>Schutztrennung (Schutzmaßnahme)</b>	Trenntransformator 	allgemein	Galvanische Trennung auch bei Defekt; $U_{1n} \leq 1000V$ ; $U_{2n} \leq 500V$
Bade- und Duschräume		Rasiersteckdose 	$20\text{ VA} \leq S_n \leq 50\text{ VA}$ ; bedingt oder unbedingt kurzschlussfest; mindestens IP X1
<b>Sicherheitskleinspannung (Schutzmaßnahme)</b>	Sicherheitstransformator 	allgemein	Galvanische Trennung auch bei Defekt; Schutzklasse II; $U_{1n} \leq 1000V$ ; $U_{2n} \leq 50V$
Kinderspielzeug	Fail-Safe-Sicherheitstransformator 	Spielzeug 	$U_{1n} \leq 250V$ ; $U_{2n} \leq 24V$
Haussignalanlagen	Nicht kurzschlussfest 	Klingelanlagen 	$U_{1n} \leq 250V$ ; $U_{2n} \leq 33V$ (8V; 10V; 12V; 16V; 24V)
Beleuchtung in besonderen Räumen	Kurzschlussfest 	Handleuchten 	$U_{2n} \leq 50V$ (6V; 12V; 24V)

## Sondertransformatoren 2

Anwendung	Bezeichnung	Verwendung	Eigenschaften
Elektronische Geräte	Geräte- o. Netztransformator		$U_{1n} \leq 1000V$ ; $U_{2n} \leq 1000V$
Meldung, Steuerung, Verriegelung	Steuertransformator		$U_{1n} \leq 1000V$ ; $U_{2n} \leq 1000V$
Medizinische Geräte	Trafo für med. Zwecke		$U_{2n} \leq 25V$ , <i>Sonderfälle 6V</i>
Gas- und Ölfeuerung	Zündtransformator		$U_2 = 5; 7; 10; 14kV$ Wicklungen galvanisch getrennt
Elektroschweißen	Schweißtransformator		$U_2 \leq 70V$ (bzw. 42V)
Abweichende Spannungen ohne galv. Trennung	Spartrafo		Keine galvanische Trennung, oft für Regelspartrafos
Anlasser DS-Motoren			

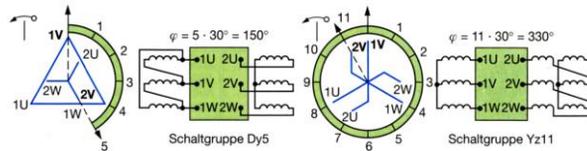
## Drehstromtransformatoren

- Wirtschaftlicher als Einsatz von 3 Einphaseneinheiten (Materialeinsparung)
- Bis in Hochspannungsbereich: Verteilungs- und Netztransformatoren
- Kühlung meist Öl, bei kleineren Leistungen auch Trockentransformatoren
- Anschlüsse: 1U; 1V; 1W → OS  
2U; 2V; 2W → US



# Wicklung von Drehstromtransformatoren

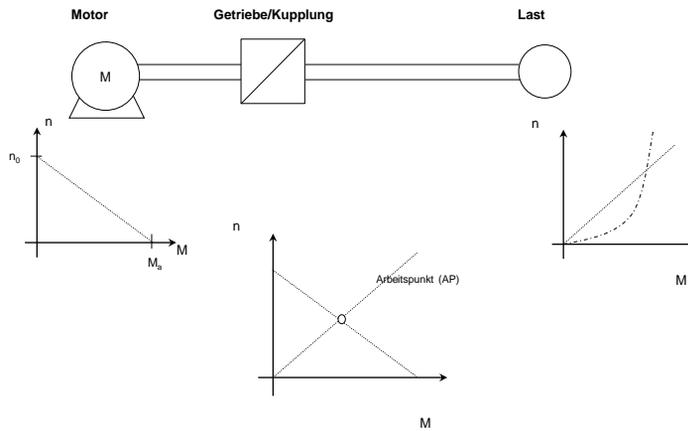
- Bezeichnung nach Spannungshöhe: Ober- (OS) und Unterspannungswicklung (US)
- Schaltgruppe: Schaltung der OS-Wicklung (Großbuchstabe) zur US-Wicklung (Kleinbuchstabe):
  - Dreieckschaltung D, d
  - Sternschaltung Y, y (N bzw. n: Sternpunkt herausgeführt)
  - Z-Schaltung: z (nur US)
  - Kennzahl  $\times 30^\circ$  (z.B. 5  $\rightarrow 150^\circ$  Phasenverschiebung zwischen OS und US)



## 3. Rotierende elektrische Maschinen



# Zusammenspiel Motor - Last



# Grundbeziehungen

## Generator

- Bewegungsinduktion
- $U_{ind} = c * \phi * 2\pi * n$ 
  - $c$  Maschinenkonstante
  - $\phi$  Magnetfluss
  - $n$  Drehzahl

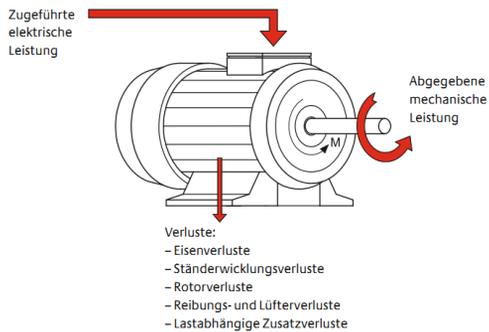
## Motor

- Kraft auf stromdurchflossenen Leiter
- $M = c * \phi * I$ 
  - $c$  Maschinenkonstante
  - $\phi$  Magnetfluss
  - $I$  Strom im Arbeitskreis

Beide Effekte treten gleichzeitig auf!

# Wirkungsgrad bei Motoren

Definition Wirkungsgrad  $\eta$  [%] =  $\frac{\text{abgegebene mech. Leistung}}{\text{zugeführte elektr. Leistung}}$



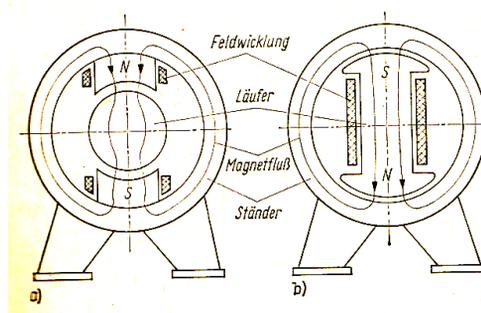
- Im Juni 2005 EU-Rahmenrichtlinie 2005/32/EG:
- umweltgerechte Gestaltung energiebetriebener Produkte (Ökodesign-Richtlinie)
- Produkte, die Richtlinie nicht erfüllen, dürfen nicht mehr in Verkehr gebracht werden
- Etwa 70% Elektroenergie im Unternehmen für Antriebe
- S.a. Abschnitt Asynchronmaschinen

Quelle: [www.industrie-energieeffizienz.de](http://www.industrie-energieeffizienz.de)

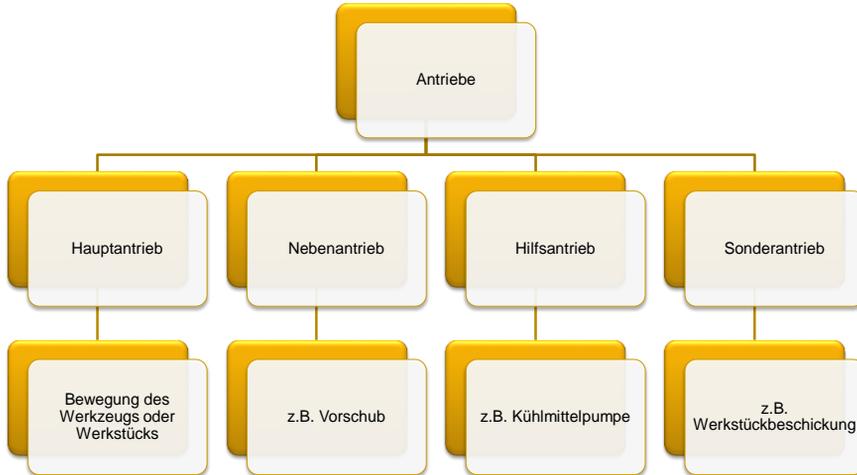
# Hauptbauteile rotierender Maschinen

Erzeugung und Weiterleitung Magnetfluss (Pole)

Aufnahme des Arbeitsstroms (Anker)

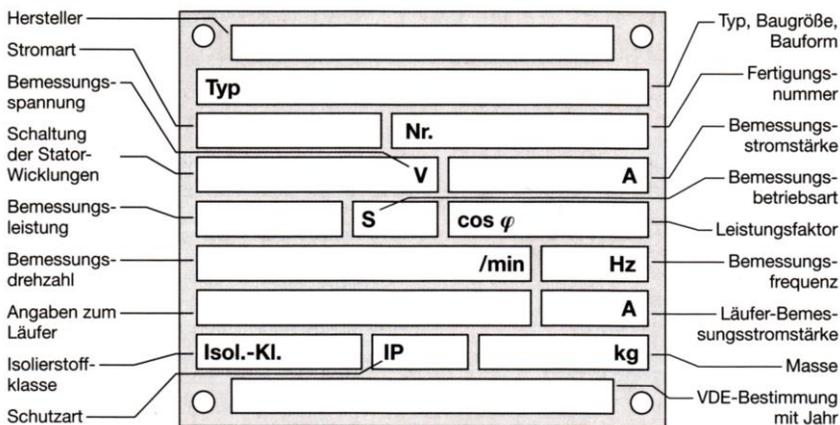


# Elektrische Antriebe an einer Werkzeugmaschine



# Angaben auf dem Leistungsschild

**Beispiel:**



## Beispiel für Leistungsschild

○	CE	VEM motors GmbH D 38855 Wernigerode Made in Germany	VEM	○	IE2 - 91,0%
DIN EN 60034-1					
3 ~ Mot.Nr./N° 153663 / 0001 HW					
Typ/Type IE2-WE1R 160 MX2					
15 kW cos $\varphi$ 0,92					
○	$\Delta$ /Y 400/690 V 26,0 / 15,0 A				○
2935 min <sup>-1</sup> /r.p.m. 50 Hz					
Th.Kl./Th.cl. 155 (F) IP 55 140 kg					
IM B35					
Fett/Grease ASONIC GHY 72					
○	DE 6310 C3	DIN625	cm <sup>3</sup>		h
○	NE6309 C3	DIN625	cm <sup>3</sup>		

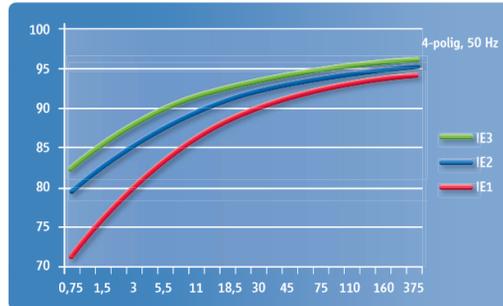
Quelle: <http://www.barth-gmbh.at>

## Hinweise zu Leistungsschildangaben

- P abgegebene Leistung (Motor  $P_{mech}$  Generator  $P_{el}$ ), bei Konsumgütern aufgenommene Leistung
- Bei Drehstrommaschinen und zwei Spannungswerten  $\Delta$  /  $\blacktriangle$  (z.B. 400 V/ 690V)
- IE-Angabe + Wirkungsgrad: Wirkungsgradklasse (ab 2011 nur IE2 und besser):
  - IE 4: Super Premium Wirkungsgrad
  - IE 3: Premium Wirkungsgrad
  - IE 2: Hoher Wirkungsgrad
  - IE 1: Standard Wirkungsgrad (früher EFF 2)
- IP-Schutzart: Eignung für Umgebung / Berührungsschutz
- Evtl. Angabe Nennbetriebsart S1...S10 (siehe Arbeitsblatt)

# Effizienzklassen nach IEC 60034-30

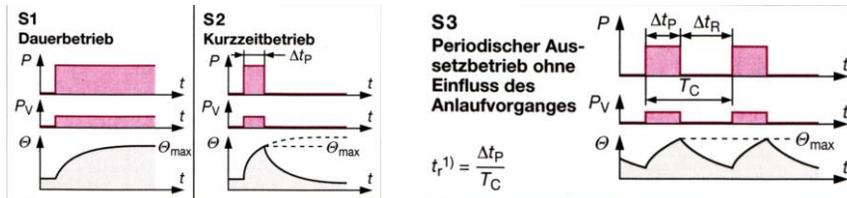
Gilt für Niederspannungs-Asynchronmotoren



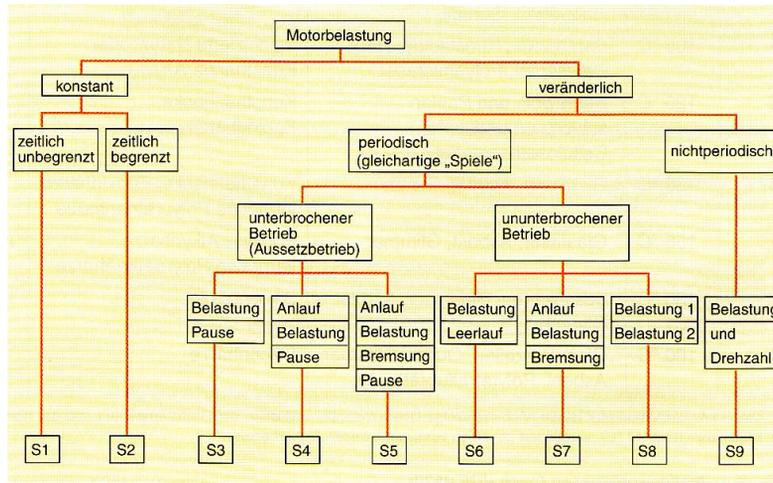
- **Termine der schrittweisen Einführung:**
- **seit Juni 2011** dürfen nur noch Drehstrom-Asynchronmotoren in Verkehr gebracht werden, die der Effizienzklasse IE2 entsprechen
- **seit Januar 2015** müssen Motoren im Leistungsbereich von 7,5 - 375 kW Wirkungsklasse IE3 erfüllen (falls mit drehzahlgeregelten Antrieb IE2)
- **ab Januar 2017** müssen Motoren mit einer Nennleistung von 0,75 - 375 kW IE3 erreichen (falls mit einem drehzahlgeregelten Antrieb IE2)

# Betriebsarten

- Grad der Erwärmung und möglichen Abkühlung eines Motors (zeitliche Folge und Dauer der möglichen Betriebszustände)
- S1 (Dauerbetrieb) bis S10 (Betrieb mit einzelnen konstanten Belastungen)
- Siehe Tabellenbuch



# Systematik der Betriebsarten



# IP-Schutzart

- Nicht nur für Motoren, elektr. Betriebsmittel allgemein
- IP (International Protection) + 2 Ziffern
- 1. Ziffer: Berührungs- und Fremdkörperschutz
- 2. Ziffer: Schutz gegen Wasser
- 0 „kein Schutz“ mit höherer Ziffer aufsteigend
- Wenn beliebig, dann Buchstabe „X“: z.B. IP5X
- Auch Bildzeichen üblich  (hier IPX3: Regenschutz)
- Siehe Tabellenbuch

# Bauformen nach EN 600 34-7

IM	B	3						
								Kennzahl der Bauform
								Betriebslage: B = waagrecht, V = senkrecht
								International Mounting

- „IM“ = International Mounting vs. „IC“ ...Cooling
- Siehe Tabellenbuch
- Alternativ Code 2 „IM“ gefolgt von 4 Ziffern

IM	1	0	0	1				
								Beschreibung des Wellenendes
								Lage des Wellenendes
								Beschreibung von Befestigung und Lagerung
								Kennzahl der Bauform
								International Mounting

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

36

# Gebräuchliche Bauformen

Bezeichnung		Skizze	Bauform				Aufstellung
Code	Code		Anzahl der Schildlager	Füße	Flansch	Andere Details	
IM B3	IM 1001		2	Mit Füßen	--	--	Fußaufstellung Füße unten
IM B5	IM 3001		2	--	Mit Flansch	Flanschlager- schild auf Antriebsseite mit Zugang von Gehäuseseite	Flanschbau auf Antriebsseite
IM B20	IM 1101		2	Mit hochgezogenen Füßen	--	--	Fußaufstellung Füße unten
	IM 1205		1	Mit Füßen	--	1 Flansch- wellenende	Fußaufstellung Füße unten
IM V1	IM 3011		2	--	Mit Flansch	Flanschlager- schild auf Antriebsseite mit Zugang von Gehäuseseite	Flanschbau auf Antriebsseite des Flansches, Antriebsseite unten
IM V10	IM 4001		2	--	Mit Flansch	Sonderflansch auf Antriebsseite	Flanschbau auf Antriebsseite des Flansches, Antriebsseite unten

Quelle: SIEMENS AG

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

37

# Kühlungsarten

IC-Code nach IEC 34-6		Prinzipbild
vereinfacht	vollständig	
IC 410	IC 4A1A0	
IC 411	IC 4A1A1	
IC 416	IC 4A1A6	
IC 01	IC 0A1	

IC 31	IC 3A1	
IC 06	IC 0A6	
IC 16	IC 1A6	
IC 26	IC 2A6	
IC 36	IC 3A6	

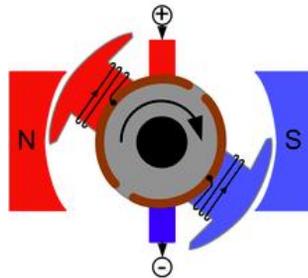
	eingebauter oder angebauter, abhängiger Lüfter
	unabhängige Antriebsgruppe (Lüfteraggregat)
	Rohr oder Kanal, nicht Teil der Maschine

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

38

## 3.1 Gleichstrommotoren (DC-Motoren)



- Anker- und Polwicklung liegen an Gleichstrom
- Arbeitswicklung immer auf Rotor (Energieübertragung über Kommutator)
- Kommutator (Kohlebürsten, Kommutatorlamellen) = mechanischer Umrichter

Wicklung	Kennbuchstabe
Anker	A1; A2
Wendepole	B1; B2 (1B1 ...2B2)
Kompensation	C1; C2
Reihenschluss	D1; D2
Nebenschluss	E1; E2
Fremderregung	F1; F2

April 2016

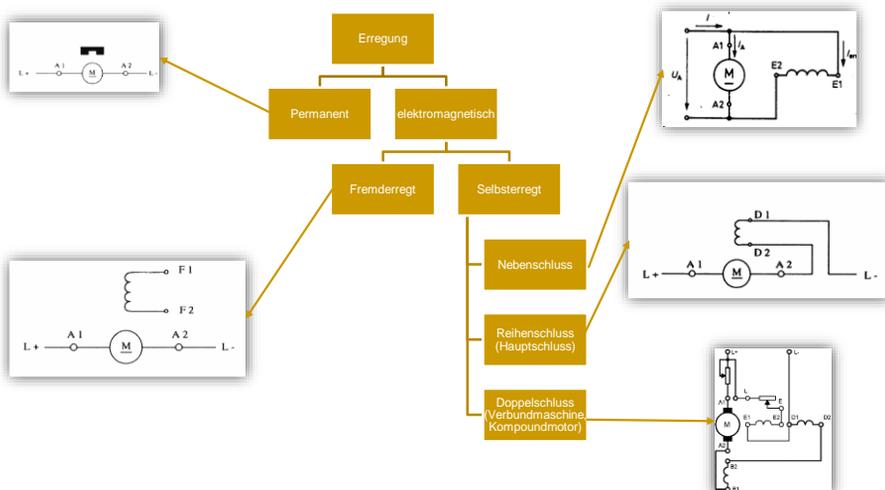
E-Maschinen für Mechatroniker

39

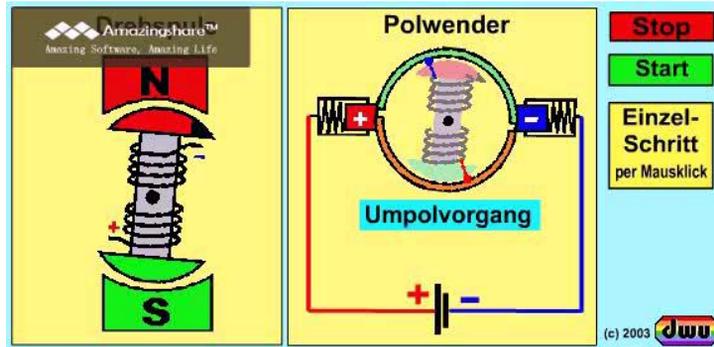
# Arten von Gleichstrommaschinen

- Nach Schaltung der Wicklungen:
  - Selbst erregte Maschine
    - Nebenschlussmaschine
    - Reihenschlussmaschine
    - Doppelschlussmaschine
  - Permanent erregt
  - Fremd erregt
- Nach Energiefluss
  - Generator
  - Motor
- Nach Einsatzzweck
  - Servomotor
  - Fahrmotor
  - Tachomaschine
  - ...

# Erregungsarten



# Prinzip der Kommutierung



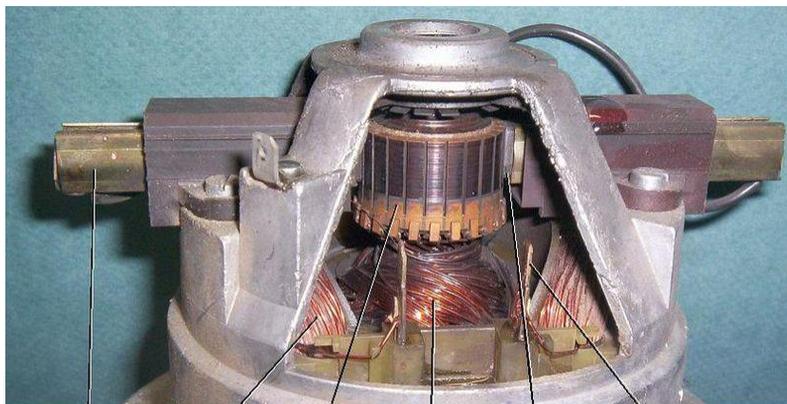
<http://www.zum.de/dwu/depotan/apem105.htm>

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

42

# Kommutator eines Universalmotors



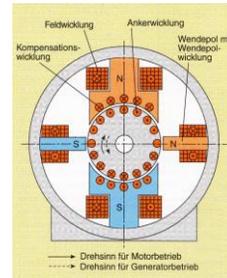
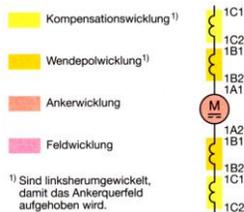
Bürstenhalter Statorwicklung Kommutator Ankerwicklung Kohlebürste Stromanschlüsse

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

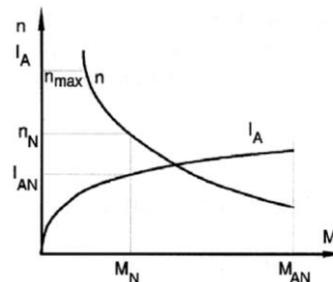
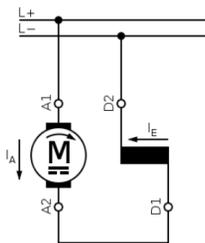
43

# Wendepol- und Kompensationswicklung



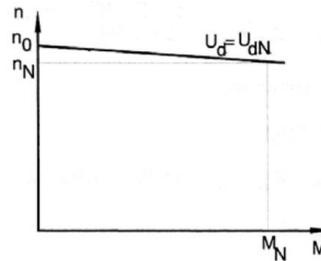
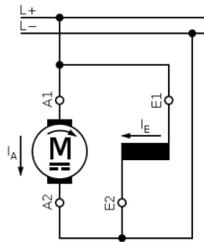
- Ab etwa 1 kW wird Wendepolwicklung verbaut, Kompensationswicklung bei Maschinen mit großen Lastschwankungen und hoher Leistung
- Kompensieren Verzerrungen des Ankerfelds (bewirkt u.a. Bürstenfeuer) und sorgen damit für gleichmäßigen Lauf der Maschine

# Reihenschlussmotor



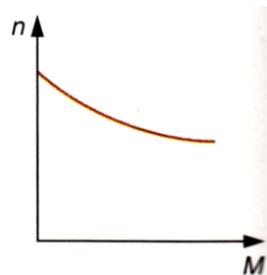
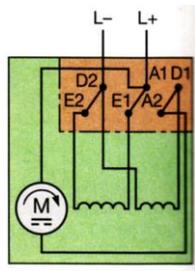
- Weiche Kennlinie, hohes Anlaufmoment (max. Strom  $\rightarrow$  max. Erregerfluss)
- Bei Entlastung überproportionales Ansteigen Drehzahl wegen Feldschwächung (Durchgehen ab etwa 2kW)
- Eignung für Fahrmotoren, Anlasser
- Auch AC-Universalmotoren
- Leistungen bis 2kW (Universalmotoren) 150kW (Fahrmotoren)

## Nebenschlussmotor



- Harte Kennlinie, gute Regelbarkeit
- Permanent erregte und fremd erregte Maschine gleiche Kennlinie
- Eignung für Werkzeugmaschinen, Roboter, Kleinantriebe mit Permanenterregung
- Durch billige Leistungselektronik zunehmend durch Drehstrommaschinen verdrängt

## Doppelschlussmotor

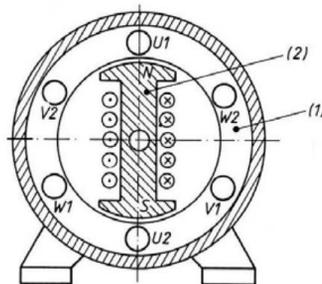


- Je nach Dimensionierung der entsprechenden Erregerwicklung dominiert Neben- bzw. Reihenschlussverhalten
- Für spezielle Antriebe wie Pressen Stanzen...
- Auch hier zunehmende Verdrängung durch Drehstromantriebe (umrichter gespeist)

## 3.2 Wechselstrommaschinen

- Der Anker wird von Wechselstrom gespeist
- Einphasen- oder Dreiphasenwechselstrom
- Wegfall Kommutator, Wechselstromübertragung zum Rotor kann induktiv erfolgen
- Technisch bedeutsam sind Universalmotor und Drehfeldmaschine
- Drehfeldmaschine → Rotor läuft synchron oder asynchron mit Drehfeld um
- Schrittmotoren lassen sich als Drehfeldmaschinen beschreiben

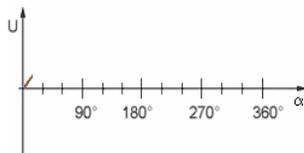
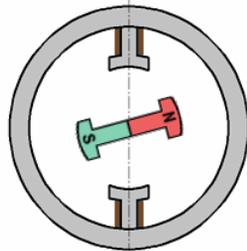
## Synchronmaschine



- (1) Stator mit Drehstromwicklung
- (2) Rotor mit Polrad (Gleichstrom)

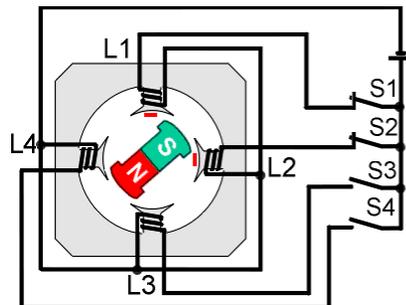
- Drehfeldmaschine mit synchron laufendem Rotor ( $f = 50\text{Hz} \rightarrow n = 3000\text{U}/\text{min}$  für  $p = 1$ )
- Erregerfeld DC oder Permanenterregung
- Innenpol- oder Außenpolmaschine
- Besondere Bedeutung als Generator

# Prinzip Synchrongenerator



- Hier Einphasenmaschine
- Kleinere Generatoren mit Permanentmagnet
- Aus Regelungsgründen für große Leistungen Gleichstromerregung

# Prinzip Schrittmotor

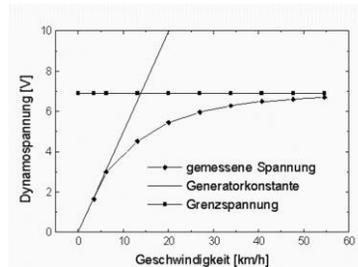
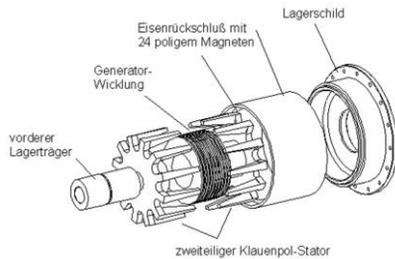


Rechtslauf

	L1	L2	L3	L4
0	1	1	0	0
1	0	1	1	0
2	0	0	1	1
3	1	0	0	1

...siehe Videoclip

## Beispiel Fahrraddynamo



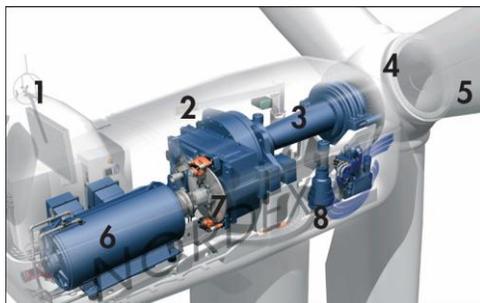
- Hohe Polpaarzahl (Drehzahl  $170 \frac{1}{min}$  bei  $20 \text{ km/h}$ )
- Durch steigende Frequenz und Blindwiderstand selbstbegrenzend

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

52

## Beispiel Generator einer WKA



1. Windmessenrichtung
  2. Getriebe
  3. Hauptwelle
  4. Rotornabe
  5. Rotorblatt
  6. Generator
  7. Scheibenbremse
  8. Windnachführung
- Quelle: www.bine.info

- Besonderheit: geringe Drehzahl  $5 \dots 20 \frac{1}{min}$
- Asynchron- oder Synchrongeneratoren
- Getriebe, getriebelos oder hydraulische Drehzahlwandler, Frequenzumrichter

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

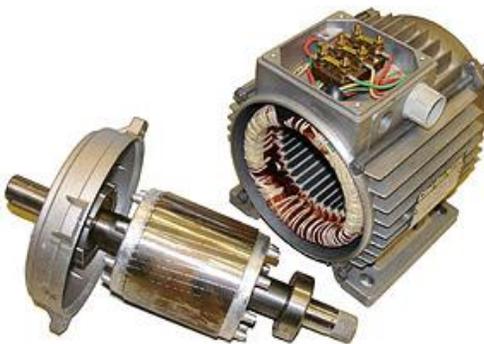
53

## Beispiel Generator im (Groß-)Kraftwerk

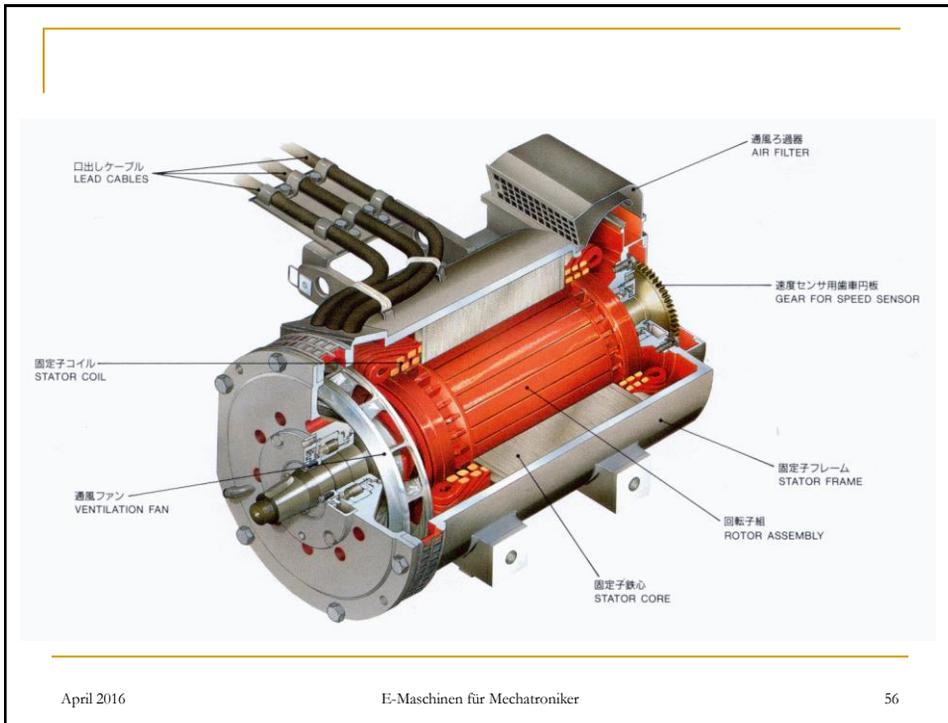
- Antrieb in Wärmekraftwerk durch Dampfturbine, meist  $3000 \frac{1}{\text{min}}$
- Hier KW Moorburg (VATTENFALL bei Hamburg) Steinkohle 2 x 826 MW el. Leistung
- Synchrongenerator mit Erregermaschine



## Asynchrone Drehfeldmaschinen



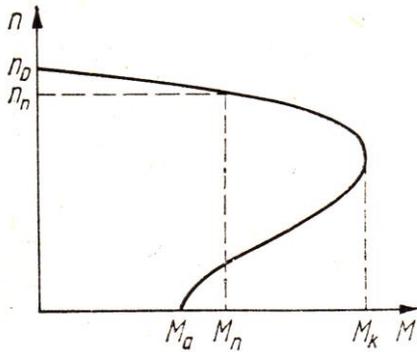
- Motorbetrieb dominiert
- Robuster Aufbau, durch induktive Energieübertragung zu Rotor bei Kurzschlussläufer
- Linearmotor (Transrapid)
- Schleifringläufer z.B. für große Leistung und Generatorbetrieb in Windkraftanlagen



## Vor- und Nachteile von ASM

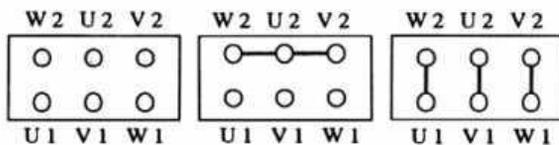
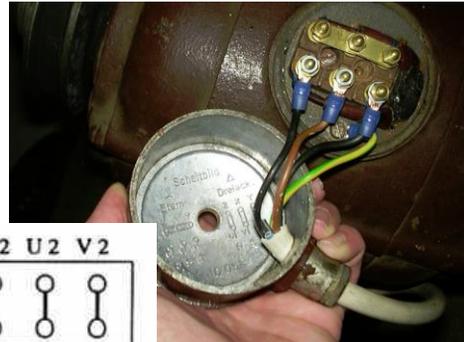
- lange Lebensdauer (20.000 Stunden), wartungsarm, geringe Herstellungskosten
- kurzzeitig stark überlastbar (bis größer 2x Nennmoment)
- nahezu konstante Drehzahl, kein „Durchgehen“ im Leerlauf
- einsetzbar im Ex-Bereich, da kein Bürstenfeuer
- „selbstständiger“ Anlauf möglich
- der Läufer ist spannungslos und kann auch in Flüssigkeiten, Gasen oder im Vakuum laufen. (Beispiel: Umwälzpumpe)
- hohe Drehzahltauglichkeit, daher bei Betrieb mit Umrichter hohe Leistungsausbeute
- Drehzahlveränderung nur bei Sonderbauformen mit Polumschaltung oder mit zusätzlichem Frequenzumrichter möglich
- insbesondere bei kleinen Ausführungen ca. 20 bis 30 % mehr Volumen pro Drehmoment gegenüber permanent magnetisierten Synchronmotoren
- Drehfeld erforderlich (Drehstrom, Kondensatormotor, Umrichter...)
- kleinerer Wirkungsgrad im Vergleich zur permanent magnetisierten Synchronmaschine bei hoher Momentausnutzung
- Schritt- bzw. Servomotoren Positionieraufgaben im Vorteil

# Kennlinie und Betriebsverhalten Kurzschlussläufer



- Leerlaufdrehzahl  
 $n_0 < n_{syn} \quad n_{syn} = \frac{f}{p}$
- Schlupf  $s = \frac{n_{syn} - n}{n_{syn}}$  etwa 2...10%
- Bei Überschreitung Kippmoment  $M_k$  bleibt Motor stehen
- Anlaufmoment  $M_a$  unter Umständen geringer als Nennmoment

# Klemmbrett



- Anschluss der drei Wicklungen U, V, W an das Netz
- Index 1 → Wicklungsanfang
- Standard: Rechtslauf
- Durch Brücken Stern- bzw. Dreieckschaltung
- Drehrichtungsumkehr durch Tauschen von 2 Phasen

# Typische Werte für Asynchronmaschinen

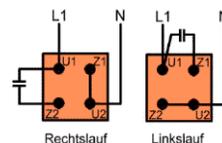
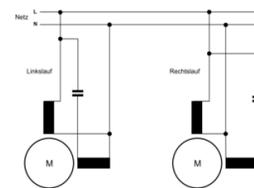
Arbeitspunkt	Schlupf $s$	Leistungsfaktor $\cos \varphi$	$I/I_N$	$M/M_N$
Stillstand	1	$< 0,4$	$\approx 10$	$< 0,5$
Kippunkt	$\approx 0,2$	$\approx 0,6$	$\approx 6$	$> 2$
Nennpunkt	$\approx 0,02$	$\approx 0,85$	1	1
Leerlauf	$\approx 0$	$< 0,5$	$\approx 0,3 \dots 0,5$	$\approx 0$

Quelle: J. Weidauer „Elektrische Antriebstechnik“

# Kondensatormotor

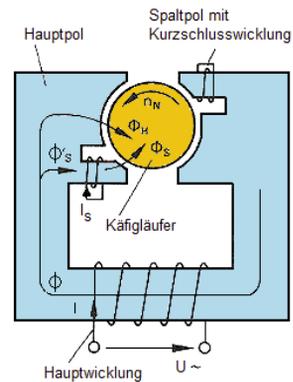
- Einphasiger Asynchronmotor, Hilfsphase  $90^\circ$  versetzt
- Kondensator etwa  $20 \mu\text{F} / \text{kW}$
- Betrieb an einphasiger Wechselspannung bei gutem Wirkungsgrad, hat positive Eigenschaften der Asynchronmaschine

Anschlussschema Kondensatormotor:



# Spaltpolmotor

- Spaltpol mit Kurzschlusswicklung als Hilfswicklung
- Meist asynchron, bei Verwendung magnetisch hartem Rotor Synchronbetrieb
- Einfacher Aufbau und robust
- Geringer Wirkungsgrad, nur kleine Leistungen



# Beispiel Heizungspumpe



- Einphasenmotor
- Betriebskondensator
- IP 44
- CE-Kennzeichnung

## Leistungsberechnung DS-Motor: ASM (Aufgabe 15)

Ein Drehstrommotor nimmt am 400 V / 50 Hz-Netz eine Wirkleistung von  $P = 15 \text{ kW}$  und  $Q = 10 \text{ kvar}$  auf. Berechnen Sie die Stromaufnahme! Wie groß ist die Stromaufnahme nach Kompensation auf  $\cos\varphi = 0,95$ ?

## Leistungsberechnung DS-Motor (ASM)

Ein Drehstrommotor nimmt am 400 V / 50 Hz-Netz eine Wirkleistung von  $P = 15 \text{ kW}$  und  $Q = 10 \text{ kvar}$  auf. Berechnen Sie die Stromaufnahme! Wie groß ist die Stromaufnahme nach Kompensation auf  $\cos\varphi = 0,95$ ?

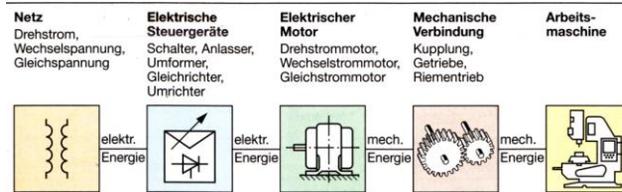
$$S = \sqrt{P^2 + Q^2} = \sqrt{(15 \text{ kW})^2 + (10 \text{ kvar})^2} = 18,03 \text{ kVA}$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} * U} = 26 \text{ A}$$

$$I_2 = \frac{P}{U * \cos\varphi * \sqrt{3}} = \frac{15 \text{ kW}}{400 \text{ V} * 0,95 * \sqrt{3}} = 22,8 \text{ A}$$

# Elektrische Maschinen II

## 4. Elektrische Antriebe

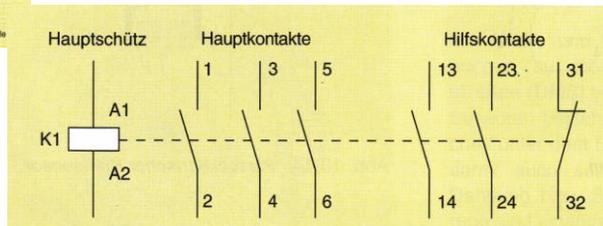
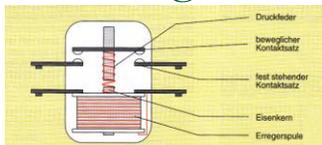


April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

66

## Steuergeräte: Schütze



- Kontaktbehaltete Schalter, magnetisch betätigt
- Gebrauchskategorien AC1 (Wirklast und schwach induktive Last) bis AC4 (Anlassen Käfigläufermotoren einschließlich Tippbetrieb und Gegenstrombremsung)
- Zifferncode siehe Abbildung

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

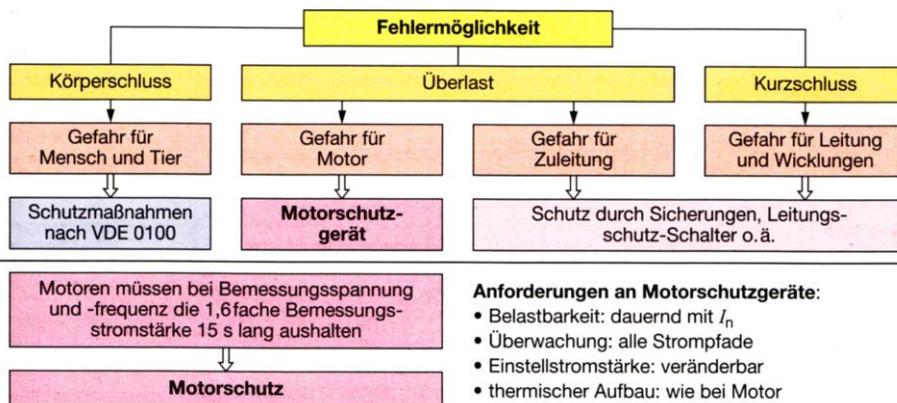
67

# Motorschutz

Motor vor unzulässiger Erwärmung infolge Überstrom schützen:

- Wegen mechanische Überlastung
- Spannungsabsenkungen und Phasenausfall
- Elektrische Fehler
- Motorschutzschalter
- Motorschutzrelais
- Motorvollschutz

# Motorschutz

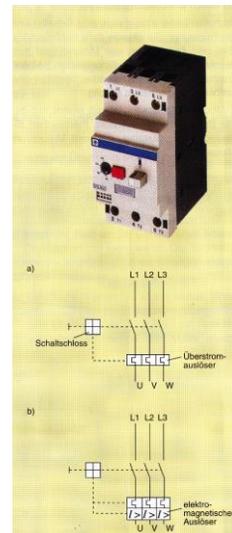


# Motorschutzarten

Schutzart	Schaltungen	Besonderheiten
<b>Motorschutzschalter</b>		<p>zweipolige Belastung</p> <p>einpolige Belastung</p>
<b>Motorschutzrelais</b>		<p>Motorschutzrelais haben mechanische Wiedereinschaltperre, sonst würde nach Erkalten der Bimetalle das Relais wieder selbsttätig einschalten. Sperre wird durch Entsperrungstaste wieder aufgehoben.</p> <p><b>Widerstandsthermometer</b> Überwachen der Wicklungs- und Lagertemperaturen</p>
<b>Thermischer Motorschutz (Motorvollschutz)</b>		<b>Thermostat</b> Bimetall-Temperaturfühler mit Öffner oder Schließer sind in die Wicklung eingebaut. Diese schalten das Motorschutz.
		<b>Thermistor-Motorschutz</b> Halbleiter-Temperaturfühler, die in der Motorwicklung eingebaut sind, wirken auf das Auslösegerät ein, das das Motorschutz schaltet.

# Motorschutzschalter

- Gleichzeitig Schalter und Schutzeinrichtung (kleiner Motoren)
- Bimetallauslöser → auf Nennstrom Motor einstellen
- Kann durch elektromagnetischen Schnellauslöser ergänzt sein (Kurzschlusschutz), sonst Versicherungen



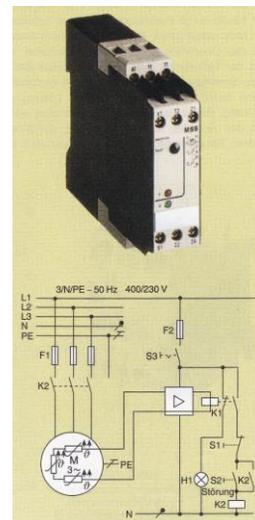
## Motorschutzrelais

- Bimetall wirkt im Steuerstromkreis (löst keine mechanische Verklüpfung sondern betätigt Öffnerkontakt im Haltestromkreis Schütz)
- Kein Kurzschlussschutz
- Oft als Anbaueinheit für Schütz



## Motorvollschutz

- Thermistoren in Motorwicklung
- Haben bessere Schutzwirkung durch unmittelbare Temperaturmessung

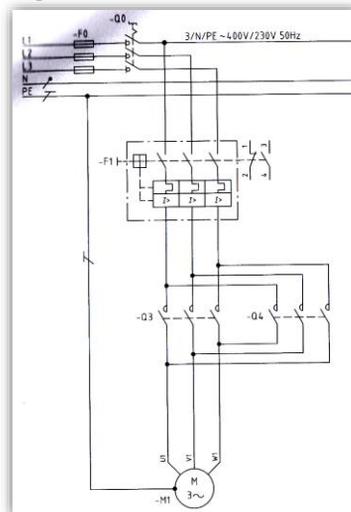


## Drehrichtungsänderung

- Schaltbilder i.d.R. für Rechtslauf
- Gleichstrommaschinen: Feld- ODER Ankerwicklung umpolen
- Drehfeldmaschinen: 2 Phasen tauschen
- Kondensatormotoren: für eine Wicklung Anschlüsse tauschen
- Spaltpolmotoren: spezielle Konstruktion (vier Spaltpole mit schaltbarer Kurzschlusswicklung)

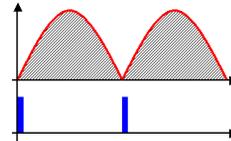
## Drehrichtungsänderung

- Wie erfolgt hier der Drehrichtungswechsel?



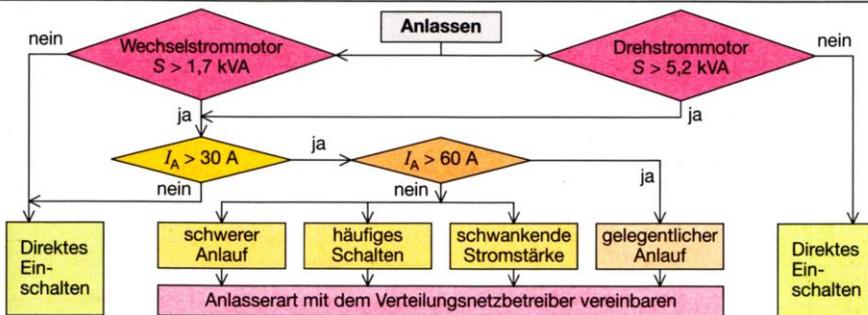
# Anlauf

- Motoren nehmen wegen  $U_{ind} = 0$  im Stillstand hohen Strom auf
- Führt zu thermischer Belastung
- Kommutatormaschinen:  
Spannungsabsenkung zur  
Anlaufstrombegrenzung (DC-Chopper,  
Phasenanschnitt, Vorwiderstände)
- Drehfeldmaschinen: Spannungsverminderung,  
Zusatzwiderstände in Läuferkreis bei  
Asynchronmotoren, spezielle Bauformen  
Kurzschlussläufer, U/f-Steuerung

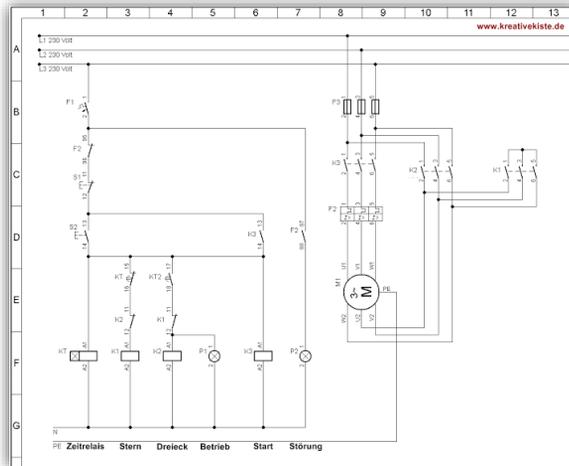


# ...Aus Sicht Energieversorger:

Nach den Technischen Anschlussbedingungen (TAB) dürfen elektrische Verbrauchsgeräte keine störenden Spannungsabsenkungen im Netz des Verteilungsbetreibers (VNB) verursachen.



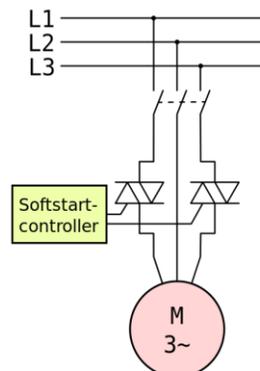
# Stern-Dreieck-Schaltung



- Häufig verwendet
- Spannung über Wicklung sinkt um Faktor  $\sqrt{3}$ , Anlaufmoment um Faktor 3
- Maßnahmen zur Vermeidung gleichzeitiges Einschalten Stern- und Dreieckschütz
- Siehe Arbeitsblatt IV

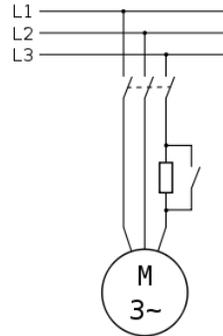
# Softstarter

- Einfache Lösung für nicht-geregelten Motorstart, billiger als Frequenzumrichter
- Bild zeigt „Sparschaltung (sonst Vollbrücke)“
- Kein Drehmomentsprung wie bei Stern-Dreieck
- Bremsbetrieb möglich

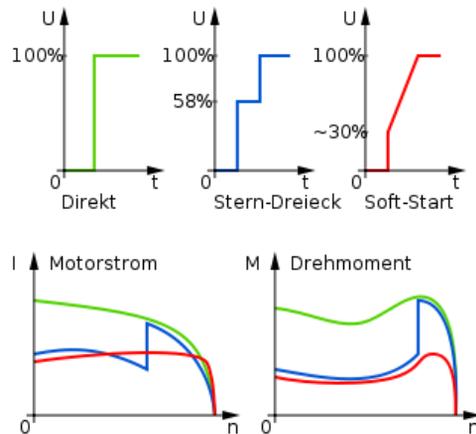


# KUSA-Schaltung

- „KURzschlussläufer-SAnftanlauf“
- Sanfter, ruckfreier Anlauf
- Einfache Schaltung
- Nur bis etwa 5 kW
- Z.B. für sanft anlaufende Textilmaschinen

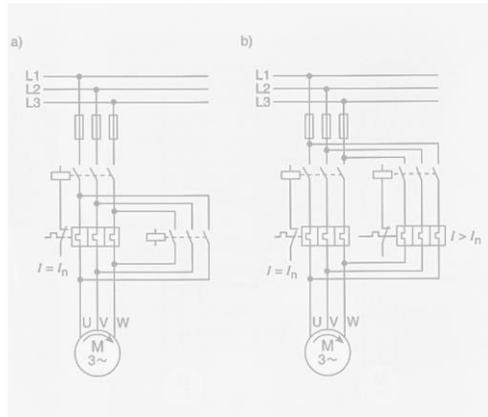


# Spannungs-, Strom- und Drehmomentverläufe

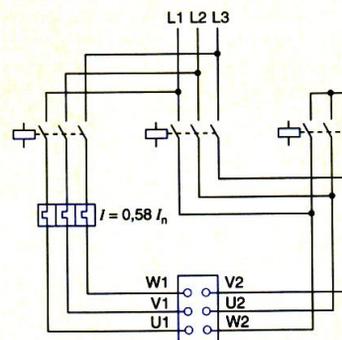


# Motorschutz bei Schweranlauf

- a. Überbrückungsrelais für Anlaufphase
- b. Anlaufüberbrückung mit Motorschutzrelais



# Motorschutz bei Stern-Dreieck-Schaltung

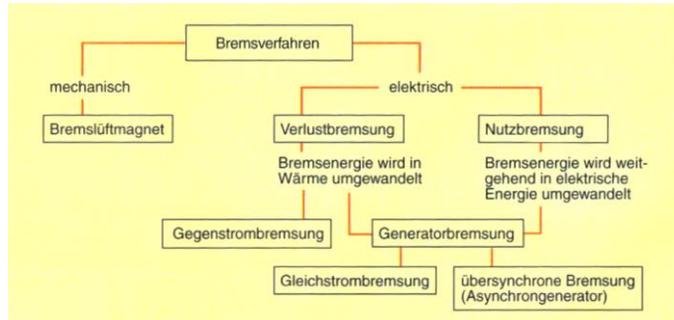


- Wirkt bereits in Sternschaltung
- Da nur Strangstrom überwacht, Einstellung auf

$$\frac{1}{\sqrt{3}} I_n = 0,58 I_n$$

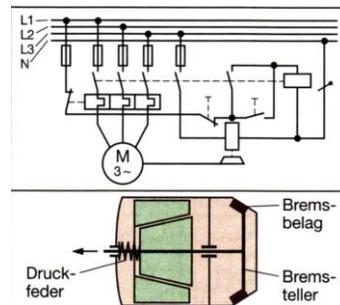
# Bremsen von Motoren

- Ziel: schnelle Drehzahlreduzierung nicht nur bis zum Stillstand
- Dem Antrieb muss mechanische Energie entzogen werden (Trägheitsmoment)
- Energie in Form von Wärme oder elektrischer Energie entziehen

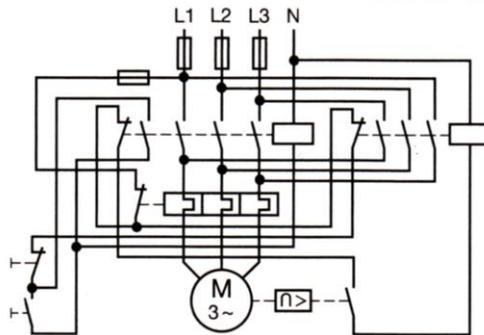


# Bremslüfter

- Beim Einschalten des Motors wird Magnetspule des Bremslüftermagneten erregt (Bremsse „gelüftet“)
- Bei Stromabschaltung wird Motor abgebremst
- Wärme außerhalb der Wicklung erzeugt
- Z.B. Werkzeugmaschinen, Rasenmäher
- Bremslüfter wirkt auch bei Stromausfall
- Betätigung des Lüfters auch mit Fluiden



## Gegenstrombremsung



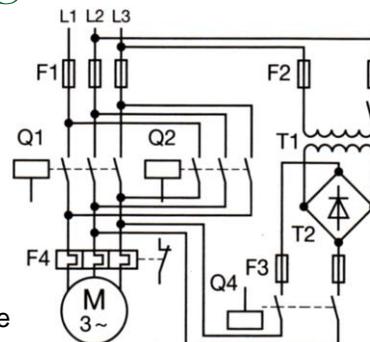
- Für Drehfeld- und Kommutatormaschinen
- Drehrichtungswechsel zum Aufbringen Bremsmoment, bei Stillstand Abschaltung
- Keine Haltbremsung
- Motor wird thermisch hoch belastet ( $I > I_{ant}$ )

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

86

## Gleichstrombremsung



- Statorwicklung der Drehfeldmaschine wird mit DC gespeist, Motor geht in Generatorbetrieb
- Im Kurzschlussläufer wird el. Energie in Wärme umgewandelt
- Mit abnehmender Drehzahl sinkt Bremswirkung
- Ähnlich Widerstandsbremung /Kurzschlussbremung bei DC-Motoren, hier Anker direkt oder über Widerstände kurzgeschlossen

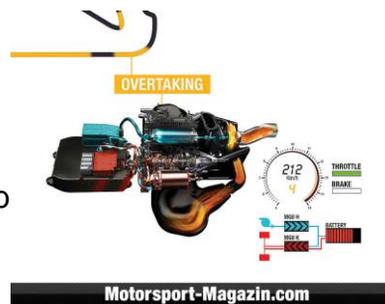
April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

87

## Nutzbremmung

- Drehzahl größer als Leerlaufdrehzahl
- Motor geht in Generatorbetrieb
- Z.B. durchziehende Last, Herabsetzen Nennfrequenz (Frequenzumrichter, Polumschaltung), Absenken Speisespannung und Stromumkehr (Stromrichter)
- Keine Haltbremsung
- Wichtige Anwendung bei Hybrid- und Elektrofahrzeugen



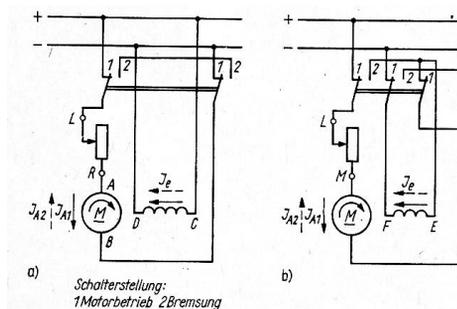
April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

88

## Kurzschlussbremsung / Widerstandsbrmsung

- Sonderform der Nutzbremmung bei DC- und Universalmotoren
- Motor (Ankerwicklung) wird über Widerstände oder direkt kurzgeschlossen
- Bremsmoment nimmt mit Drehzahl ab



Hinweis: in der dargestellten historischen Schaltung sind veraltete Klemmenbezeichnungen im Einsatz!

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

89

# Drehzahlsteuerung

Steuerart	Motorart	Zusatz-einrichtungen	Eigenschaften	Anwendungs-beispiele
<b>Getriebe</b>	Bei allen Motorarten möglich	Angebaute Getriebe	Feste Übersetzung, Stellgetriebe, Über- und Untersetzung	Werkzeugmaschinen
		Getriebe-motoren		
<b>Polumschal-tung</b> $n_1 = \frac{f}{p}$	Asynchron-motoren, Synchron-motoren	Getrennte Wicklungen	Bis zu vier unterschiedliche feste Drehzahlen,	Lüfter
		Dahlander-schaltung	Drehzahlverhältnis 1 : 2,	
<b>Frequenz-steuerung</b> $n_1 = \frac{f}{p}$	Asynchron-motoren, Synchron-motoren	Maschinen-umformer	Feste Drehzahlen, Frequenzen bis zu 400 Hz	Schleifmaschinen, Holzbearbeitungs-maschinen u. Ä.
		Umrichter mit Zwischenkreis	Wechselstrom-Umrichter	
		Direkt-umformer		
<b>Spannungs-steuerung</b>	Asynchron-motoren	Spannungs-steller	$M \sim U^2$ Drehzahl im Bereich $n_N$ bis $n$ steuerbar	Selten angewandt
<b>Veränderung des Läufer-widerstandes</b>	Schleifring-läufermotoren	Läuferanlasser	Anlasser muss für Dauerlast ausgelegt sein, kleiner Stellbereich	Lüfter- und Kompressor-antriebe

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

90

# Drehzahlsteuerung II

<b>Steuerung von <math>U_a</math></b>	Gleichstrom-motoren	Vorwiderstände	Anlasser für Dauerlast auslegen, nur unterhalb $n_N$ steuerbar	Werkzeugmaschinen, Walzstraßen, Bagger
		Leonardsatz	Stufenlose Drehzahlsteuerung in beiden Drehrichtungen	
		Gesteuerte Gleichrichter	Stromrichter gesteuert	
<b>Steuerung von <math>I_f</math></b>		Feldsteller	Stellbereich 1 : 1,5 bis 1 : 4	
		Gesteuerter Gleichrichter	Weniger Verluste als beim Steuern mit Anlasser	
<b>Anschnitt-steuerung</b>	Universal-motor	Triac-Steuerung	Phasenanschnittsteuerung	Elektrowerkzeuge, Haushaltsgeräte
	Gleichstrom-motoren (stromrichter-gesp.)	Thyristor-steuerung	Stromrichter gesteuert	
<b>Bürsten-verstellung</b>	Repulsions-motor, Derimotor		Drehzahlsteuerung durch Bürstenverstellung in beiden Drehrichtungen	Textilmaschinen
	Drehstrom-kollektormotor			Gebläse, Verdichter, Druckmaschinen

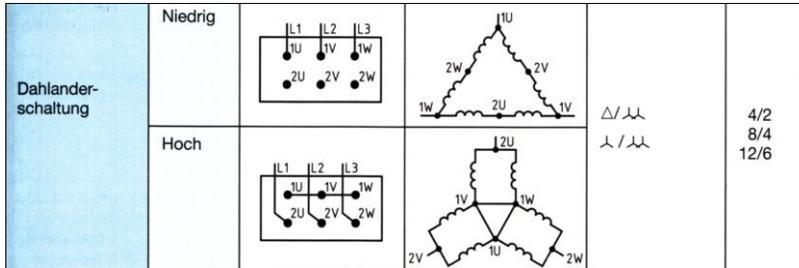
April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

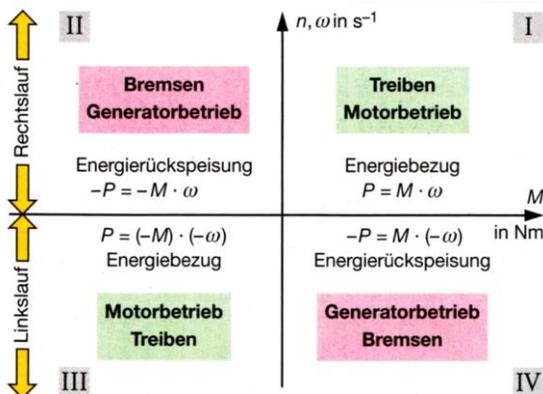
91

# Polumschaltbare Motoren

$2p$	2	4	6	8	10	12	16	20	24	32	$f$
$n_f = \frac{f}{p}$	1000	500	333	250	200	166	125	100	83,3	62,6	$16\frac{2}{3}$ Hz
in $\text{min}^{-1}$	3000	1500	1000	750	600	500	375	300	250	188	50 Hz
	3600	1800	1200	900	720	600	450	360	300	225	60 Hz



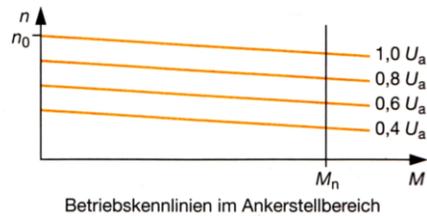
# Stromrichterantriebe



- Die Betriebsarten von Stromrichterantrieben bilden ein Vierquadrantenfeld.
- Einquadrantenantrieb: Nur für Treiben, also je nach Drehrichtung I. oder III. Quadrant. Definition gilt auch für Bremsbetrieb, wenn Energie nicht dem Netz, sondern z.B. einem Bremswiderstand zugeführt wird.
- Zweiquadrantenantrieb: Bei Rechtslauf mit Treiben und Nutzbremsen
- Vierquadrantenantrieb: Rechts- und Linkslauf, Treiben und Nutzbremsen

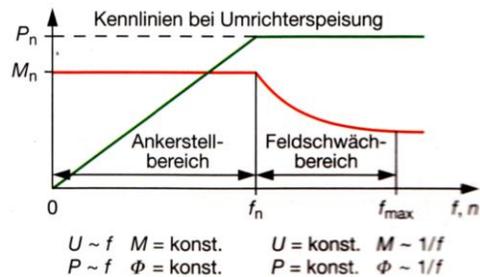
# Elektronisch gestellte Gleichstromantriebe

- Fremderregter Gleichstrommotor ist häufigste Antriebsmaschine.
- Drehzahlsteuerung üblicherweise durch Veränderung der Ankerspannung  $U_a$ .
- Spannungsversorgung ist über netzgeführte Stromrichter bzw. über Steller (Chopper) mit Gleichspannungszwischenkreis möglich.



# Elektronische Drehstromantriebe

- Drehstromasynchronmotor mit Käfigläufer ist die häufigste Antriebsmaschine, da besonders wartungsarm.
- Kontinuierliche und verlustarme Drehzahlveränderung durch variable Frequenz und Spannung.
- Versorgung überwiegend durch Umrichter mit Spannungszwischenkreis, da diese Einzelantrieb und Antriebsverbund ermöglichen.



# Elektronische Drehzahlstellung

Versorgung	Direkt aus dem Drehstromnetz		
Ständerfrequenz	konstant		
Bezeichnung	Drehstromsteller	Gepulster Läuferwiderstand	Untersynchrone Stromrichter-kaskade
Schaltung			
Eigenschaften	Reduzierte Ständer-spannung senkt magnetischen Fluss. Größerer Schlupf erzeugt höheren Läuferstrom, damit konstantes Moment bei niedrigerer Drehzahl.	Beeinflussung des Läuferwiderstandes durch pulsgesteuerten Widerstand. Schlupfleistung wird im Läuferkreis in Wärme umgesetzt.	Schlupfleistung wird über Stromrichter-kaskade ins Drehstromnetz zurückgeführt.
Anwendung	Lüfter- und Kreislumpen-antriebe bis ca. 10 kW.	Schleifring-läuferantriebe bis ca. 20 kW.	Verlustarme Schleifring-läuferantriebe bis MW-Bereich, z. B. Pumpen- u. Lüfterantriebe.

April 2016

E-Maschinen für Mechatroniker

96

# Elektronische Drehzahlstellung II

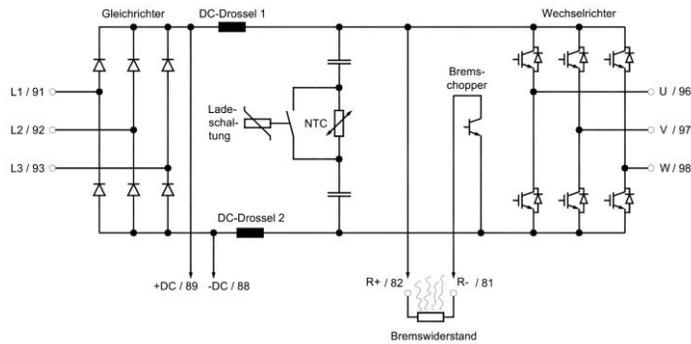
Direkt-umrichter	Umrichter mit Spannung-zwischenkreis	Umrichter mit Strom-zwischenkreis	Stromrichter-motor	Puls-umrichter
<ul style="list-style-type: none"> <li>Vollgesteuerte Umrichter erzeugen Wechselspannung und -strom</li> <li>Ständerfrequenz <math>f_2 \leq 0,5</math> Netzfrequenz</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Lastspannung wird durch Spannung-zwischenkreis eingepreßt.</li> <li>Netz wird durch Steuerblindleistung belastet.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Geringerer Stromrichter-aufwand, Bedingt durch eingepreßten Strom nur Speisung von dauernd eingeschalteten Einzel-lasten möglich.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Eingepreßter Strom versorgt Synchronmaschine. Polradstellung taktet Maschinenstromrichter, kein Kippen bei Laststoßen.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Ungesteuerter Netzstromrichter verhindert Steuerblindleistung. Gepulste Ausgangsspannung ist ober-schwingungs-arm.</li> </ul>
Versorgung von Reisezügen mit Diesellokomotive, Rohmühlenantrieb im MW-Bereich.	Gruppenantriebe mit hoher Gleichlaufanforderung bis $f_2 \leq 600$ Hz.	Einmotorantriebe bis 1 MW im Drehzahlbereich von 1 : 20.	Antriebe bis zum MW-Bereich. Kleine Antriebe z. B. in Tonbandgeräten, Plattenspieler.	Konst. Zwischenkreissp. kann durch Gleichsp.-Netz gestützt werden. Bis 10 kW Transistor-Puls-umrichter.

April 2016

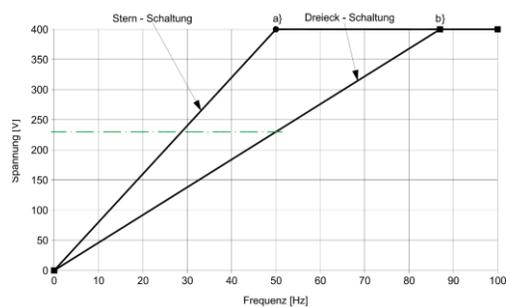
E-Maschinen für Mechatroniker

97

# Frequenzumrichter mit Spannungszwischenkreis



# Eckfrequenz



- Bei Wahl eines Motors 230 / 400V kann dieser im Dreieck angeschlossen werden, Eckfrequenz 87Hz möglich (Isolation muss 400V tragen können)
- Antrieb hat höheren Stellbereich, kleinerer Motor möglich

## Literaturhinweise (Facharbeiter)

- [http://www.saiya.de/maschbau/mt\\_Motorenscrip07.pdf](http://www.saiya.de/maschbau/mt_Motorenscrip07.pdf) (Motoren allgemein)
- <http://www.emot.de/wissen/motor/>
- [http://www.sew-eurodrive.de/s\\_training/upload/teachware/WB\\_Grundlagen\\_Antriebstechnik\\_DE.pdf](http://www.sew-eurodrive.de/s_training/upload/teachware/WB_Grundlagen_Antriebstechnik_DE.pdf) (Zum Weiterlesen: stromrichtergeführte Antriebe)
- [http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/mot-wp002\\_-de-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/wp/mot-wp002_-de-p.pdf) (Motorschutz)
- [http://www.guetzold.com/Downloads/Allgemeine\\_Informationen\\_zu\\_Danfoss\\_Produkten/Anwendertipps\\_Frequenzumrichter.pdf](http://www.guetzold.com/Downloads/Allgemeine_Informationen_zu_Danfoss_Produkten/Anwendertipps_Frequenzumrichter.pdf) (Tipps zu Frequenzumrichtern)

